Toposecuencias de suelos desarrollados sobre dos litologías contrastadas: calizas margosas y calizas duras

Edelweïss FARRÚS, Immaculada VIETE, Aina CALAFAT y Jaume VADELL

SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA NATURAL DE LES BALEARS

Farrús, E., Viete, I., Calafat, A. y Vadell, J. 2002. Toposecuencias de suelos desarrollados sobre dos litologías contrastadas: calizas margosas y calizas duras. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 45: 21-43. ISSN 0212-260X. Palma de Mallorca.

Se estudian once suelos situados a lo largo de un transecto que incluye dos toposecuencias sobre materiales litológicos contrastados: calizas margosas del Cretácico y calizas duras del Jurásico. Estos suelos ocupan posiciones geomorfológicas variadas y están sometidos a distintos tipos de gestión. Hay tierras agrícolas en uso, tierras que ocupan posiciones marginales, que actualmente no se cultivan, y otras forestales. Los suelos desarrollados sobre las dos litologías presentan características químicas muy diferenciadas. Sobre las calizas margosas se desarrollan suelos con un alto contenido en carbonatos y un nivel de fertilidad reducido mientras que sobre las calizas duras se sitúan suelos rojos que pueden estar completamente descarbonatados y que tienen un nivel de fertilidad químico más elevado. El nivel de materia orgánica, componente determinante de la fertilidad de un suelo, muestra una relación directa con el tipo de gestión: las tierras que no se labran y donde se desarrolla vegetación silvestre permanente, presentan valores más elevados que cuando se cultivan. Así, los suelos situados en pendientes, cuando se cultivan, son muy vulnerables ante la erosión hídrica. Si dejan de labrarse y se establece una vegetación permanente mejora la fertilidad y se fortalecen ante los fenómenos erosivos.

Palabras clave: *Suelos mediterráneos, Islas Baleares, erosión, fertilidad, catena.*

TOPOSEQÜÈNCIES DE SÒLS DESENVOLUPATS SOBRE DUES LITOLOGIES CONTRASTADES: CALCÀRIES MARGOSES I CALCÀRIES DURES. S'estudien onze sòls situats al llarg d'un transecte que inclou dues toposeqüències sobre materials litològics contrastats: calcàries margoses del Cretaci i calcàries dures del Juràssic. Aquests sòls ocupen posicions geomorfològiques contrastades i estan sotmesos a diferents tipus de gestió. Hi ha terres agrícoles en ús, terres que ocupen llocs marginals, que actualment no es cultiven, i altres forestals. Els sòls desenvolupats sobre les dues litologies presenten característiques químiques molt diferenciades. Sobre les calcàries margoses es desenvolupen sòls amb un alt contingut en carbonats i un nivell de fertilitat reduït mentres que sobre les calcàries dures es situen sòls rojos que poden estar completament descarbonatats i que tenen un nivell de fertilitat més elevat. El nivell de matèria orgànica, component determinant de la fertilitat d'un sòl, mostra una relació directa amb el tipus de gestió: les terres que no es llauren i on es desenvolupa vegetació silvestre en presenten valors més elevats que quan es cultiven. Així, els terrenys amb pendent cultivats, són molt vulnerables a l'erosió hídrica. Si es deixen de llaurar i s'estableix una vegetació permanent millora la fertilitat i disminueixen els riscos d'erosió hídrica.

Paraules clau: *Sòls mediterranis, Illes Balears, erosió, fertilitat, catena.*

TOPOSEQUENCES OF SOILS DEVELOPED ON TWO CONTRASTED LITOLOGIES: MARL LIMESTONE AND HARD LIMESTONE. We have studied eleven soils located along a transect that includes two toposequences on contrasted litological materials: marl limestone from the Cretaceous and hard limestone from the Jurassic. These soils occupy vary geomorphological positions and are submitted to different types of management. There are agricultural soils in use, soils that occupy marginal positions, that are not cultivated currently, and forestry soils. Soils developed on both litologies present very different chemical characteristics. On marl limestone there are developed soils with carbonate high content and reduced fertility level while on hard limestone there are situated red soils that can be completely decarbonated and that have higher chemical fertility level. The organic matter content, determinant component of soil fertility, shows a direct relation with the type of management to which soil is submitted: soils that aren't ploughed on which permanent wild vegetation grows, have higher contents than when they are ploughed. So, soils located on hill slopes, when ploughed, are very vulnerable to water erosion. If ploughing stops and permanent wild vegetation is installed soil fertility increases and also its resistance to erosive phenomena.
Keywords: *Mediterranean soils, Balearic Islands, erosion, soil fertility, catena.*

Edelweïss FARRÚS, Immaculada VIETE, Aina CALAFAT y Jaume VADELL; Departament de Biologia, Universitat de les Illes Balears. 07071, Palma de Mallorca.

Recepció del manuscrit: 16-abr-02; revisió acceptada: 16-mai-02.

Introducción

La isla de Mallorca, desde el punto de vista geológico, está dominada por materiales calizos que se presentan bajo diferentes litologías. Las características del material geológico o substrato a partir del cual se genera el suelo junto a los otros factores edafogénicos (clima, vegetación, topografía, tiempo, gestión,...) dan lugar a tipologías edáficas diferenciadas.

En las fases iniciales de formación de un suelo o, en procesos de regeneración de suelos afectados por fenómenos erosivos, la litología es un factor determinante ya que la meteorización o alteración del material originario depende de su composición mineralógica. Las rocas calizas margosas, constituidas principalmente por carbonato cálcico y minerales de arcilla, presentan un mecanismo de alteración físico consistente en la debilitación mecánica de la roca por hidratación y expansión de las arcillas. En este proceso, se liberan carbonatos en una forma activa muy fina (caliza activa), que juega un papel muy importante en la dinámica evolutiva del suelo. El desarrollo de estos suelos, principalmente ligado a procesos de descarbonatación, depende de la cantidad de impurezas silicatadas que contenga y de la intervención de los factores formadores antes señalados. Por otro lado, los suelos desarrollados sobre calizas duras presentan un mecanismo de alteración que consiste principalmente en procesos de disolución que tienen lugar de forma mayoritaria durante los periodos húmedos. Este proceso da lugar a un lavado da carbonatos, permaneciendo en el perfil los silicatos y otros materiales poco solubles (Duchaufour, 1984).

La velocidad de formación de un suelo, además de la intensidad en que intervienen los factores de meteorización o alteración, depende de la naturaleza del substrato sobre el que se desarrolla el suelo. Sobre materiales deleznables (caso de las calizas margosas) la creación de nuevo suelo puede ser muy rápido con incrementos del volumen explorable por las raíces de la vegetación fácilmente apreciables. En cambio sobre las calizas duras los procesos de formación de nuevo suelo pueden ser extraordinariamente lentos. Para las condiciones del Mediterráneo se consideran tasas de disolución de las calizas duras entre 10 y 40 μm/año, siendo común que el residuo de minerales de arcilla sólo suponga el 1 ó 2%. Sobre estos materiales la formación real de

suelo durante todo el Holoceno podría haber sido de menos de 1 cm. En esta situación las aportaciones eólicas de polvo procedente del Sahara pueden representar una contribución importante en la formación de suelo (aportes muy variables en función de las regiones, topografía,... que de una manera genérica pueden cifrarse entre menos de 1 μm y 20 μm/año) (Fornós *et al.*, 1997; Yaalon, 1997).

La topografía condiciona el grado de desarrollo y la profundidad del suelo. Los suelos que ocupan posiciones con pendiente en el paisaje están sometidos a continuas pérdidas de material, lo que ralentiza y dificulta su edafogénesis. En cambio, los suelos situados en zonas bajas o deprimidas se caracterizan por recibir materiales y presentar una mayor profundidad (Daniels y Hammer, 1992).

En general, en los terrenos en pendiente se sitúan suelos autóctonos, con niveles de evolución variables en función de los factores edafogénicos y las pérdidas erosivas, mientras que en las partes bajas dominan los suelos alóctonos, desarrollados sobre materiales 'pre-edafizados', procedentes de posiciones más elevadas y desplazados por fenómenos erosivos (Yassoglou *et al.*, 1997).

La vegetación es el elemento fundamental en la formación y diferenciación de un suelo. Tiene una doble función, ya que contribuye en la fijación y protección del suelo y, al mismo tiempo, por sus aportes de materia orgánica, en la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas. Estrictamente no se puede considerar un suelo sin la presencia de una vegetación que aporta o ha aportado materia orgánica; en cambio sí es posible la existencia de suelos estrictamente orgánicos.

Las intervenciones humanas como son las actividades agrarias tienen una acción directa sobre el suelo, modificando los procesos evolutivos naturales. Así, en los suelos agrícolas, la sustitución de la vegetación natural por especies cultivadas, la labranza, el tránsito de ganado y otros, modifican las propiedades originales del suelo. La disminución del contenido en materia orgánica, la reducción de la fertilidad física y química y el incremento de los riesgos erosivos son aspectos vinculados a la actividad agraria. En los lugares más frágiles, por ejemplo suelos en pendiente es donde se manifiesta de una manera más directa la acción humana. Así pues, para realizar una gestión agraria adecuada para el uso del suelo es necesario conocer los factores determinantes para la conservación y mejora de la fertilidad del mismo (Brady y Weil, 1996).

La pérdida de suelo, como consecuencia de distintos procesos erosivos es uno de los fenómenos más generalizados en suelos sometidos a actividades antrópicas (Pimentel *et al.*, 1995). Así, tomando como ejemplo los suelos desarrollados sobre calizas margosas, que tienen una importante fracción de limos y un alto contenido de caliza activa, ante lluvias intensas, el proceso de infiltración puede resultar dificultoso, viéndose favorecida la escorrentía. Son suelos con tendencia a la compactación, con una estructura susceptible al impacto de las gotas de lluvia y que pueden formar costra superficial. Son, en definitiva, suelos muy susceptibles a la erosión hídrica y que, en zonas de pendientes acusadas si están desnudos, presentan un gran riesgo de degradación (Morgan, 1997; Casalí *et al.*, 1999; Siepel *et al.*, 2002).

En este trabajo se estudia y compara la evolución y fertilidad de suelos desarrollados sobre dos litologías (calizas duras del Jurásico y calizas margosas del Cretácico), que ocupan distintas posiciones geomorfológicas y sometidos a diferentes gestiones agrarias.

Características de la zona de estudio

El estudio se ha realizado en la finca de 'ses Algorfes' por la diversidad geomorfológica, geológica, edáfica y de gestión que presentan sus tierras.

La finca está situada al NO de la isla de Mallorca, en el término municipal de Calvià, entre las poblaciones de Calvià y es Capdellà (39° 35' N; 2° 29' E). El termotipo climático es termomediterráneo superior y el ombrotipo subhúmedo inferior (Rivas-Martínez, 1995), con una temperatura media anual de 16,9°C, precipitación media anual de 647 mm y una evapotranspi-

ración potencial anual según Thornthwaite de 860 mm (Guijarro, 1986). En la Fig. 1 se representa el diagrama ombrotérmico de la zona.

Las características climáticas actuales de esta zona vienen definidas por unas condiciones mediterráneas típicas: más del triple de lluvias en invierno que verano, sequía en los meses estivales dando lugar al régimen de humedad xérico (Soil Survey Staff, 1992). En estos suelos resulta más relevante el excedente hídrico de los meses invernales que el déficit estival. Durante el periodo percolante se favorecen los procesos de alteración hidrolítica de los silicatos y también se favorecen los procesos de disolución de los materiales carbonatados así como la iluviación de arcillas dando lugar a los horizontes argílicos, característicos de los suelos rojos mediterráneos (Fedoroff, 1997).

El relieve de la zona es irregular con numerosas vaguadas y las terrazas son una componente característica. Dominan dos litologías: calizas margosas del Cretácico y calizas duras del Jurásico. Los colores de los suelos son, también, contrastados, combinándose en el paisaje tonalidades claras (correspondientes a suelos poco evolucionados desarrollados sobre calizas margosas) con otras rojas (suelos rojos mediterráneos) y tonos intermedios. En los terrenos con pendiente los suelos tienen poca profundidad, acumulándose mucha tierra en las partes bajas de las vaguadas.

La gestión agraria actual de la finca objeto de estudio está enfocada hacia la combinación de cultivos extensivos de almendro y algarrobo con ganadería ovina. Los cultivos arbóreos de almendros y algarrobos se combinan con cultivos herbáceos (forrajes y pastos). Las tierras de difícil explotación (escasa profundidad del suelo, afloramientos de la roca madre, pendientes acentuadas,...) están dominadas por vegetación de 'garriga' (*Oleo Ceratonion* con presencia de *Pinus halepensis*), también aprovechada por el ganado. La fertilización de las tierras cultivadas se ajusta a la normativa establecida para las explotaciones de agricultura ecológica (Reglamento CEE 2092/91), siendo las aportaciones más relevantes estiércol ovino, cáscara de almendra y fosfatos naturales.

Material y métodos

El estudio de campo se realizó en enero de 1996. Se trazó un transecto que engloba 11 sue-

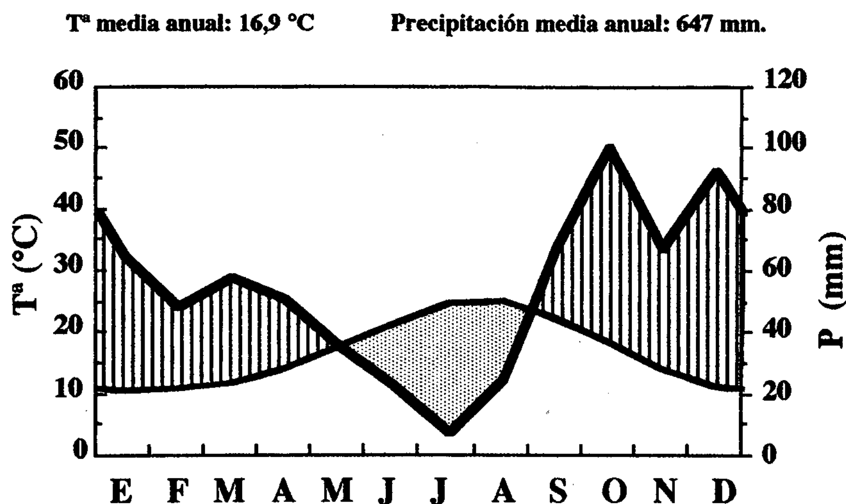


Fig. 1. Diagrama ombrotérmico correspondiente a la zona de estudio.
Fig. 1. *Climatic diagram of Walter and Lieth of the area.*

los representativos de la variedad geomorfológica, litológica, edáfica y de gestión de la finca. Seis perfiles se situan sobre calizas margosas del Cretácico (Cretácico inferior) y los cinco restantes sobre calizas duras del Jurásico (Lías).

Las descripciones de campo se han realizado tomando como referencia el "Manual para la descripción codificada de suelos de campo, SINEDARES" (MAPA, 1983).

En los inventarios florísticos se han definido tres niveles, en función de la presencia-abundancia (Braun Blanquet, 1979): especies abundantes (cobertura superior al 25%), especies frecuentes (número de individuos elevado o cobertura entre 10 y 25%) y otras especies presentes.

La geología se ha definido a partir de las hojas a escala 1:50.000 del Mapa Geológico de España (Instituto Tecnológico Geominero de España, 1992).

Se han recogido muestras de suelo de cada perfil y para cada capa diferenciada. En los suelos agrícolas con plantaciones arbóreas los puntos de muestreo se han situado fuera de la proyección de las copas de los árboles.

El color se ha definido siguiendo las cartas de color Munsell.

Las muestras se han secado a temperatura ambiente y se ha separado la tierra fina de los elementos gruesos mediante un tamiz de 2 mm. La tierra fina se ha usado en las diferentes determinaciones analíticas, excepto en la cuantificación de carbonatos, materia orgánica y nitrógeno total, en las cuales se ha usado tierra previamente pulverizada. Las determinaciones se han realizado por duplicado y se han realizado siguiendo los protocolos descritos en los métodos oficiales de análisis de suelos (MAPA, 1986).

Para la determinación de la textura se han dispersado las partículas minerales mediante un ataque, en caliente, con peróxido de oxígeno (agua oxigenada). La dispersión se ha completado, posteriormente, agitando con una solución de hexametafosfato de sodio. Las arenas gruesas (2-0,5 mm) y finas (0,5-0,1 mm) se han separado por tamizado, mientras que las muy finas (0,1-0,05 mm) se han separado al final del proceso de decantación. Los limos (0,05-0,002 mm) y las arcillas (<0,002 mm) se han cuantificado mediante el método de la pipeta Robinson.

El pH actual se ha determinado a partir de una solución acuosa con una relación tierra:agua 1:2,5 y el pH potencial a partir de una solución de KCl 1M, con la misma proporción 1:2,5.

La prueba previa de salinidad se ha medido a partir de una solución acuosa con una relación tierra:agua 1:5. Después de agitar durante media hora, se ha centrifugado y filtrado. Al filtrado se han añadido unas gotas de hexametafosfato de sodio al 1% y se ha medido la conductividad eléctrica, refiriendo los resultados a una temperatura de 25°C.

El contenido en carbonato cálcico equivalente se ha determinado con el calcímetro de Bernard, cuantificando el volumen de dióxido de carbono desprendido por la muestra de suelo cuando es atacada con HCl, aproximadamente 6M, y comparando los resultados con un patrón de carbonato cálcico.

La caliza activa se ha determinado siguiendo el método de Nijelsohn. La extracción se ha realizado con una solución de oxalato amónico 0,2N. A partir del extracto, previamente filtrado, se ha tomado una alícuota sobre la que se ha medido, con el calcímetro de Bernard, el dióxido de carbono desprendido después de ser atacada con HCl, aproximadamente 6M.

La materia orgánica se ha calculado a partir del carbono orgánico, multiplicando por el factor de conversión 1,724. El carbono orgánico se ha medido por oxidación con dicromato potásico 1N en medio ácido (acido sulfúrico y ácido ortofosfórico) valorando el exceso de dicromato potásico con sal de Mohr ($Fe(NH_4)2SO_4$ $6H_2O$) 0,5N (método de Walkey y Black, descrito en: Nelson y Sommers, 1982).

El nitrógeno se ha valorado con el método Kjeldahl. La oxidación de las diferentes formas de nitrógeno a la forma amoniacal se ha realizado mediante una digestión en caliente con ácido sulfúrico, en presencia de un catalizador (mezcla de sulfato potásico, sulfato de cobre y selenio en la proporción 100/10/1). El amonio formado es liberado por destilación de la muestra digerida, neutralizando previamente con hidróxido sódico en exceso. El nitrógeno se valora directamente con una solución diluida de ácido clorhídrico de concentración conocida.

Para cuantificar el fósforo asimilable se ha

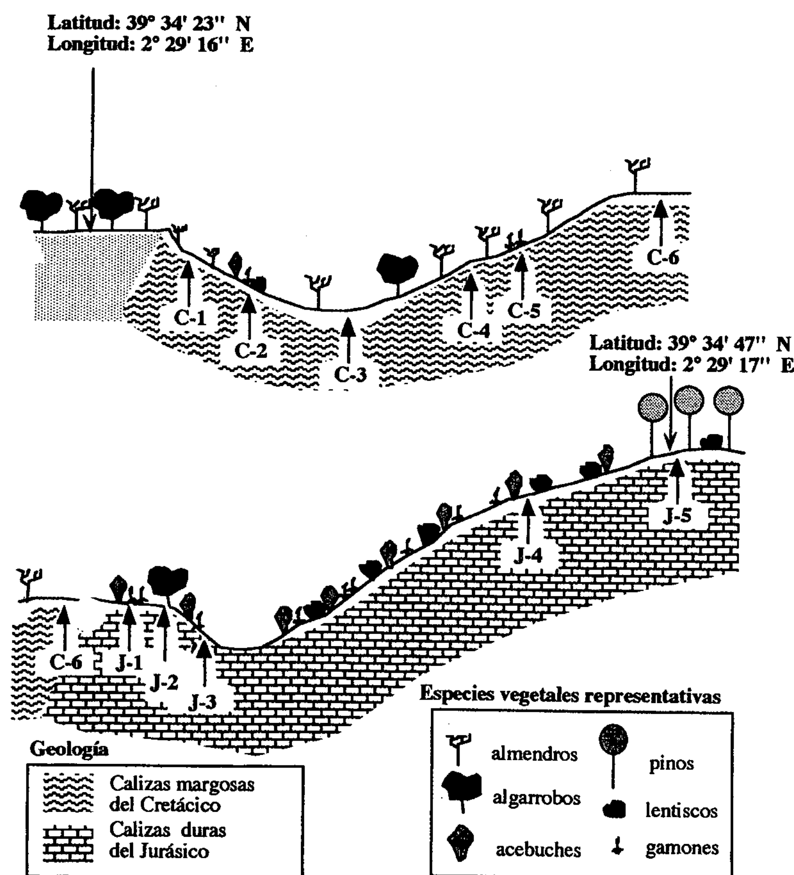


Fig. 2. Situación de los suelos estudiados. La dirección del transecto es norte-sur.
Fig. 2. *Soils profile sites along the North-South transect.*

seguido el método Olsen. Se ha realizado una extracción con una solución de bicarbonato sódico 0,5 M a pH 8,5. En una alícuota del extracto se ha añadido, molibdato amónico y cloruro de estaño, midiendo la absorbancia a 660 nm.

La capacidad de intercambio catiónico se ha cuantificado saturando la muestra con acetato amónico 1M a pH 7, lavando con etanol y desplazando el amonio retenido en los lugares de intercambio con cloruro potásico. Las bases de cambio (calcio, magnesio, potasio y sodio) se han medido a partir del extracto inicial de acetato amónico por espectroscopia de plasma (ICP). El amonio retenido en los lugares de intercambio se ha cuantificado mediante el método Kjeldahl.

La clasificación de los suelos se ha realizado de acuerdo a los criterios de la '*Soil Taxonomy*' (Soil Survey Staff, 1992) y la clasificación de suelos de la FAO (1974).

En las tablas de resultados, los suelos desarrollados sobre calizas margosas del Cretácico se representan con el prefijo "C" y los desarrollados sobre calizas duras del Jurásico se representan con la letra "J". La localización, dentro del transecto de los diferentes perfiles estudiados se representa en la Fig. 2.

Resultados y discusión

Descripción de campo de los suelos estudiados

En el anexo 1 se describen los once suelos estudiados. En la Fig. 2 se localizan los perfiles a lo largo del transecto establecido.

El perfil C-1 corresponde a una zona de pendiente importante (14°). Se trata de un suelo muy erosionado con unas características muy próximas al material originario, con un contenido en carbonato cálcico equivalente de casi el 84% y un nivel de fertilidad físico-químico muy bajo. En cambio, el perfil C-2 que ocupa una posición muy próxima, con una pendiente más elevada (23°) presenta un nivel de fertilidad más elevado. El no laboreo de este suelo y el establecimiento de una vegetación permanente herbáceo-arbustiva han permitido aumentar de manera significativa el contenido de materia orgánica y, consecuentemente, la fertilidad química. La presencia de materia orgánica tiene una incidencia positiva en la retención de agua, favoreciendo el desarrollo de la vegetación que, junto a los procesos respiratorios de la microflora del suelo incrementan los niveles de dióxido de carbono del suelo, favoreciendo la disolución y movilización de los carbonatos (Dutil, 1987). La comparación de estos dos perfiles es un buen ejemplo de gestión para la conservación y recuperación de suelos. Como se demuestra en numerosos estudios (Alías *et al.*, 1997; Nevo *et al.*, 1998; Gregorich *et al.*, 1998; Cerdà, 1999; Kosmas *et al.*, 2000), en suelos vulnerables a la erosión hídrica, el establecimiento de una vegetación permanente es clave para reducir las pérdidas y recuperar la fertilidad a partir de una mejora en el contenido de materia orgánica del suelo.

El perfil C-3 representa un típico suelo alóctono, con características coluvio-aluviales al ocupar la parte baja de la vaguada y ser una zona de acumulación de materiales resultado de movimientos en masa y a través de corrientes de agua. Apenas se aprecian diferencias entre capas siendo la característica más relevante la profundidad que alcanza este suelo.

Los suelos C-4 y C-5 se localizan en la ladera opuesta a los perfiles C-1 y C-2. Las pendientes son más suaves. El perfil C-4 representa un prototipo de suelo agrícola característico de zonas con pendiente (10°). Destaca el alto contenido de elementos gruesos, sobre todo en superficie (70-80% de cobertura). La presencia de piedras en superficie es el resultado de la labranza, al hacer un uso continuado de aperos (p.e. los cultivadores) que favorecen la emergencia de piedras. Los fenómenos erosivos pueden ser otro factor adicional. Desde la perspectiva de gestión, la presencia de piedras en superficie tiene como aspecto negativo la dificultad para la realización de algunas labores agrícolas, y como contribución positiva la protección (de forma comparable al 'mulching' vegetal) frente al impacto de las gotas de lluvia, reduciendo los efectos de la erosión hídrica (Poesen e Ingelmo-Sánchez, 1992; Figueiredo y Poesen, 1998). En C-5 la escasa e irregular profundidad del suelo impide las labores agrícolas siendo colonizado el suelo por vegetación permanente, mejorando (al igual que ocurre con el perfil C-2) el contenido en materia orgánica y la fertilidad en general. Estos hechos ponen de manifiesto la importancia de la gestión y el desarrollo de la vegetación sobre las características del suelo, pudiendo ser más importantes en la formación y evolución del suelo que otros factores como la pendiente o la exposición (Nevo *et al.*, 1998).

El perfil C-6 está situado en la parte alta de una colina en una posición llana, situado cerca de la vivienda y dependencias para los animales de la finca, en una zona propensa a recibir aportes fertilizantes (cenizas, estiércoles,...) extras. Las valoraciones que se realicen sobre este suelo tienen que contemplar estas presumibles aportaciones habituales en un entorno doméstico.

La serie de suelos desarrollados sobre calizas duras se inicia en el perfil J-1, desarrollado sobre un terreno en el cual aflora la roca en numerosos puntos y que está ocupado, mayoritariamente, por gamones (*Asphodelus aestivus*). Se trata de un suelo truncado que ha perdido el horizonte superior original por procesos erosivos, ocupando las concavidades y fisuras de la roca caliza. El bajo contenido de carbonatos (2,5% en la capa superior y 0,3% en la inferior) son un indicador de la limitada transformación que ha sufrido este suelo, habiendo sufrido una ligera

Tabla 1. Clases texturales.
Table 1. *Textural classes.*

Perfil	Capa (cm)	% arenas (2-0,05 mm)	% limos (0,05-0,002 mm)	% arcillas (<0,002 mm)	Textura USDA
C-1	0-18	10,2	65,4	24,4	Franco-limosa
C-2	0-10	8,7	58,4	32,9	Franco-arcillo-limosa
	10-24	8,7	57,5	33,8	Franco-arcillo-limosa
C-3	0-18	23,4	49,1	27,5	Franco-arcillosa
	18-40	19,7	49,8	30,5	Franco-arcillo-limosa
	40-65	20,5	50,0	29,4	Franco-arcillosa
	65-81	17,2	50,7	32,1	Franco-arcillo-limosa
	81-120	15,0	50,7	34,4	Franco-arcillo-limosa
C-4	0-7	20,2	51,1	28,7	Franco-arcillosa
	7-20	18,0	49,3	32,7	Franco-arcillo-limosa
C-5	0-10	20,8	44,2	35,0	Franco-arcillosa
	10-18	19,1	46,2	34,8	Franco-arcillo-limosa
C-6	0-8	31,3	44,5	24,3	Franca
	8-22	24,7	48,0	27,3	Franco-arcillosa
J-1	0-12	22,2	51,6	26,2	Franco-limosa
	12-27	21,8	39,7	38,5	Franco-arcillosa
J-2	0-8	24,8	46,4	28,8	Franco-arcillosa
	8-16	21,7	47,5	30,9	Franco-arcillosa
	16-42	18,0	43,9	38,1	Franco-arcillo-limosa
J-3	0-12	21,3	51,8	26,9	Franco-limosa
J-4	0-12	6,8	63,9	29,4	Franco-arcillo-limosa
	12-25	9,4	53,3	37,4	Franco-arcillo-limosa
J-5	0-11	11,2	64,2	24,6	Franco-limosa
	11-27	7,9	54,6	37,5	Franco-arcillo-limosa

recarbonatación secundaria, atribuible a aportaciones superficiales de materiales carbonatados.

A unos 20 m de J-1 se localiza J-2 con características claramente diferenciadas debido a su uso agrícola. La profundidad (unos 40 cm) permite el establecimiento de cultivos. Las labores agrícolas (labranza, excavación de hoyos,...) han ocasionado una recarbonatación secundaria importante (entre 20 y 23% de carbonato cálcico equivalente).

J-3 es otro claro ejemplo de suelo alóctono formado a partir de materiales provenientes del suelo que ocupa la posición fisiográfica superior. Las características físico-químicas de este suelo, similares a la capa superior del perfil J-2, localizado en la parte superior son un claro indicador del origen de este suelo, generado a partir de materiales desplazados por procesos coluvio-aluviales. La vulnerabilidad a factores erosivos (18° pendiente) queda compensada por una vegetación herbáceo-arbustiva permanente y un contenido en materia orgánica importante (6,7%) que favorecen la estabilidad de este suelo.

Los perfiles J-4 y J-5 están situados en terrenos de escasa pendiente (4-5°). Se trata de suelos evolucionados, afectados por procesos erosivos que han provocado un truncamiento (pérdida de los horizontes superiores del suelo). Se observan numerosos afloramientos de roca que impiden la labranza. Se trata de suelos completamente descarbonatados, con pHs en agua alrededor de 7,5 y un complejo de intercambio catiónico saturado.

Los perfiles correspondientes a J-1, J-4 y

Tabla 2. Distribución por tamaños de la fracción arena. Los porcentajes están referidos al total de tierra fina (<2 mm).
Table 2. *Distibution of sand sizes. Percentage rates are referred to the total particles below 2 mm.*

Perfil	Capa (cm)	% arena gruesa (2-0,5 mm)	% arena fina (0,5-0,1 mm)	% arena muy fina (0,1-0,05 mm)
C-1	0-18	2,8	3,9	3,6
C-2	0-10	3,3	3,0	2,4
	10-24	3,4	2,6	2,8
C-3	0-18	8,2	7,3	7,9
	18-40	6,3	6,2	7,3
	40-65	5,8	6,8	7,9
	65-81	3,9	5,2	8,1
	81-120	3,6	4,3	7,1
C-4	0-7	5,0	5,5	9,7
	7-20	3,9	4,6	9,5
C-5	0-10	7,3	5,7	7,8
	10-18	5,8	4,4	8,9
C-6	0-8	7,8	9,8	13,7
	8-22	6,1	9,3	9,3
J-1	0-12	4,4	8,9	8,9
	12-27	1,1	9,0	11,7
J-2	0-8	9,8	6,8	8,2
	8-16	7,8	6,3	7,6
	16-42	7,0	5,8	5,2
J-3	0-12	8,7	5,2	7,4
J-4	0-12	0,3	0,4	6,1
	12-25	0,2	0,4	8,7
J-5	0-11	0,2	0,5	10,4
	11-27	0,2	0,6	7,1

J-5 constituyen tres ejemplos característicos de suelos rojos mediterráneos (Alías y Nieto, 1972, Jiménez Ballesta y Guerra, 1980; Yaalon, 1997; Yassoglou *et al.*, 1997). La presencia de un horizonte argílico y colores que oscilan entre 5YR y 2,5YR son las dos características más relevantes.

Textura

Las texturas de todos los suelos estudiados son similares y varían entre franca, franco-limosa y franco-arcillo-limosa (Tabla 1). Los limos son la fracción mayoritaria y presentan valores entre 40 y 65%. Los valores de las arcillas oscilan entre el 24 y 38%. Los altos contenidos de limos, especialmente en los suelos desarrollados sobre calizas margosas, pueden afectar a su estabilidad estructural haciéndolos sensibles a los agentes de erosión hídrica cuando estos suelos están desprotegidos (Guillet y Rouiller, 1987; Duiker *et al.*, 2001).

Las arenas suponen, en prácticamente todas las muestras (excepción de la capa 0-8 cm del perfil C-6) la fracción minoritaria. Destacan los bajos valores de los perfiles C-1 y C-2 con valores entre el 9 y 10%, manteniendo, en todas las muestras de la serie de suelos desarrollados sobre calizas margosas, una proporción similar de las distintas fracciones de arenas, siendo un indicador de un origen común (Guillet y Rouiller, 1987). En la serie de suelos rojos, des-

Tabla 3. pHs, conductividad eléctrica (C.E.), carbonato cálcico equivalente y caliza activa.
Table 3. *Soil pHs, electrical conductivity (E.C.), equivalent calcium carbonate and fine carbonates.*

Perfil	Capa (cm)	pH H_2O 1:2,5	pH KCl 1:2,5	C.E. 25°C 1:5 (dS/m)	% CO_3Ca equivalente	% Caliza activa
C-1	0-18	7,9	7,6	0,05	83,7	25,0
C-2	0-10	7,8	7,5	0,10	73,2	27,2
	10-24	7,9	7,5	0,08	71,7	25,9
C-3	0-18	7,9	7,6	0,08	72,2	23,2
	18-40	8,0	7,7	0,09	72,3	27,1
	40-65	8,0	7,6	0,11	71,9	24,7
	65-81	8,0	7,7	0,14	73,8	25,5
	81-120	8,0	7,6	0,14	72,0	26,4
C-4	0-7	7,8	7,5	0,09	75,4	23,1
	7-20	8,0	7,6	0,08	74,7	22,3
C-5	0-10	7,8	7,5	0,13	67,9	21,7
	10-18	7,8	7,4	0,10	67,7	22,3
C-6	0-8	8,0	7,9	0,15	69,6	22,7
	8-22	7,9	7,8	0,19	67,6	24,5
J-1	0-12	7,8	7,3	0,06	2,5	0,1
	12-27	7,7	7,2	0,05	0,3	0,0
J-2	0-8	8,1	7,5	0,10	23,1	3,6
	8-16	8,0	7,3	0,09	21,5	3,8
	16-42	8,0	7,3	0,10	20,8	4,9
J-3	0-12	8,1	7,4	0,10	23,1	4,4
J-4	0-12	7,6	6,8	0,04	0,0	0,0
	12-25	7,4	6,6	0,03	0,0	0,0
J-5	0-11	7,6	7,0	0,10	0,0	0,0
	11-27	7,5	6,8	0,08	0,0	0,0

tacan, también los bajos contenidos en arenas (prácticamente con ausencia de las fracciones entre 2 y 0,1 mm) en los perfiles J-4 y J-5 (Tabla 2). En este caso, la escasez de fracción gruesa es atribuible a los procesos de alteración/meteorización intensos a que se han visto sometidos estos suelos a lo largo del tiempo. En cambio, en los perfiles J-1, J-2 y J-3 la mayor proporción de arenas es el resultado de procesos de alteración antrópica, favoreciendo la mezcla de materiales (este hecho es especialmente manifiesto en el perfil J-2, con un proceso de recarbonatación secundario destacable).

En los suelos rojos desarrollados sobre las calizas duras se manifiesta una clara diferenciación entre capas. Las inferiores presentan un mayor contenido de la fracción arcillas (entre un 30 y 50% más, respecto al horizonte superior) lo que es indicador de un proceso de acumulación de arcillas (iluviación) provenientes de las capas superiores.

En los suelos desarrollados sobre calizas margosas no se aprecia este fenómeno ya que los procesos de migración de arcillas se manifiestan, mayoritariamente, una vez se ha producido la descarbonatación total del perfil (Duchaufour, 1984). Cabe indicar que algunos suelos rojos caracterizados contienen carbonatos (Tabla 3), tratándose de un proceso de recarbonatación secundaria, posterior a los procesos de iluviación de arcillas.

Carbonatos, caliza activa y pHs

El componente que presenta mayores diferencias entre las dos series estudiadas son los carbonatos. Mientras que los suelos desarrollados sobre calizas margosas los contenidos de carbonato cálcico equivalente oscilan entre 67,6 y 83,7%, dos de los suelos rojos desarrollados sobre calizas duras (perfiles J-4 y J-5) están completamente descarbonatados (Tabla 3).

En los suelos desarrollados sobre calizas margosas el porcentaje de carbonatos que constituyen las fracciones granulométricas más finas (caliza activa) es en todos los casos muy elevada, suponiendo, alrededor del 30-35% de los carbonatos totales. La presencia de carbonatos condiciona el pH_{H2O} que alcanza valores alrededor de 8,0. Las diferencias entre el pH_{H2O} y el pH_{ClK} son reducidas (entre 0,1 y 0,4 unidades de pH), debido a la baja cantidad de minerales de arcilla, ya que, la fracción granulométrica 'arcillas' está mayoritariamente constituida por caliza activa.

En estos suelos, los altos contenidos de caliza activa, tienen repercusiones negativas sobre cultivos sensibles a la clorosis férrica (Tagliavini y Rombolà, 2001), lo que requiere evitar aquellos cultivos que se puedan ver afectados por la baja disponibilidad del hierro.

Los suelos rojos desarrollados sobre calizas duras presentan unas características claramente diferenciadas a las anteriores, con niveles más bajos o ausencia de carbonatos. Cuando estos suelos se han trabajado para su aprovechamiento agrícola (p.e. J-2), se ha favorecido una mezcla de las capas superiores con las inferiores, que contienen carbonatos, generando una recarbonatación secundaria fruto de la actividad humana. En cambio, el perfil J-1, que ocupa una posición muy próxima al anterior, en un entorno con frecuentes afloramientos de roca que impiden las labores agrícolas, sólo presenta una ligera recarbonatación, probablemente ocasionada por alguna actividad puntual. El perfil J-3 ocupa una posición con pendiente acentuada y recibe partículas procedentes del entorno donde se sitúa el perfil J-2, presentando, por tanto, unas características similares. Los otros dos perfiles (J-4 y J-5) se han mantenido completamente descarbonatados por el hecho de estar situados en entornos con muchos afloramientos de roca donde no es posible la labranza.

En estos suelos rojos, la caliza activa no sobrepasa en ninguno de los casos el 20% de los carbonatos totales y, a pesar de presentar valores bajos (4,9%, el más elevado), condiciona el pH, alcanzándose valores similares a los de los suelos desarrollados sobre calizas margosas. Únicamente en los suelos completamente descarbonatados se alcanzan valores de pH_{H2O} entre 7,4 y 7,6. En estos suelos la diferencia entre pH_{H2O} y pH_{ClK} es entorno a 0,6 unidades, como consecuencia del mayor contenido de minerales de arcilla y capacidad de intercambio catiónico de estos frente a los desarrollados sobre calizas margosas.

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica de la suspensión 1:5, conocida también como 'prueba previa de salinidad' nos da información sobre posibles problemas de salinidad (Porta *et al.*, 1986). Los valores obtenidos, siempre inferiores a 0,2 dS/m en los suelos desarrollados sobre calizas margosas e inferiores a 0,1 dS/m para los suelos desarrollados sobre calizas duras (Tabla 3) indican la ausencia de problemas de este tipo.

Materia orgánica, nitrógeno total y relación C/N

El uso y gestión de la tierra es el principal factor determinante del contenido de materia orgánica en los suelos estudiados. Los suelos cultivados presentan valores más bajos que los que mantienen una vegetación silvestre y no se labran (Tabla 4).

Los suelos sometidos a labranza, desarrollados sobre calizas margosas presentan valores entre 1,2 y 3,3% mientras que el suelo rojo labrado (J-2), desarrollado sobre calcáreas duras, presenta un 4,6% en la capa superior. Los suelos no cultivados alcanzan en todos los casos los valores más elevados, entre 5,4 y 9,6%. Exceptuando el perfil C-3, que tiene características coluvio-aluviales, sin una clara diferenciación del contenido de materia orgánica, el resto de suelos presentan la típica disminución del contenido de materia orgánica con la profundidad.

Puede observarse, a partir de estos resultados, que cuando estas tierras dejan de cultivarse y se establece una vegetación permanente, se produce un claro incremento del contenido de

Tabla 4. Materia orgánica, nitrógeno y fósforo asimilable (Olsen).
Table 4. Organic matter, nitrogen and soluble phosphorus (Olsen).

Perfil	Capa (cm)	% C.O.	% m.o.	% N	C/N	Fósforo asim. (mg/kg)
C-1	0-18	0,66	1,15	0,06	11,2	20,5
C-2	0-10	3,62	6,23	0,29	12,4	17,6
	10-24	1,29	2,22	0,11	12,3	11,7
C-3	0-18	1,46	2,52	0,13	10,9	23,1
	18-40	1,26	2,17	0,10	12,2	19,6
	40-65	1,18	2,04	0,10	12,1	15,8
	65-81	1,03	1,78	0,09	11,7	22,3
	81-120	1,27	2,20	0,10	12,8	12,4
C-4	0-7	1,45	2,50	0,13	11,1	42,3
	7-20	1,02	1,75	0,09	11,7	15,0
C-5	0-10	4,28	7,38	0,32	13,3	41,7
	10-18	1,91	3,29	0,16	11,8	18,8
C-6	0-8	1,89	3,26	0,15	12,8	53,7
	8-22	1,76	3,04	0,16	11,2	31,4
J-1	0-12	3,16	5,44	0,27	11,7	10,0
	12-27	1,81	3,12	0,18	10,0	10,2
J-2	0-8	2,68	4,62	0,23	11,6	22,5
	8-16	2,54	4,38	0,22	11,4	14,1
	16-42	1,95	3,37	0,20	9,9	14,3
J-3	0-12	3,86	6,65	0,34	11,4	22,6
J-4	0-12	3,65	6,30	0,29	12,5	14,8
	12-25	2,33	4,01	0,21	11,2	13,4
J-5	0-11	5,59	9,64	0,35	16,1	24,3
	11-27	2,91	5,01	0,23	12,5	15,8

materia orgánica. De esta forma mejora la fertilidad de la tierra y la resistencia a la erosión hídrica. Este hecho es fácilmente apreciable al comparar, por un lado, los perfiles C-1 y C-2 y por otro, C-4 y C-5.

El contenido en nitrógeno total está directamente relacionado con el contenido en materia orgánica, presentando en la mayoría de los casos, relaciones C/N entre 10 y 12. Estos valores son indicadores de un equilibrio entre los procesos de mineralización y humificación de la materia orgánica (Saña *et al.*, 1996). El perfil J-5, correspondiente al pinar, presenta una relación claramente diferenciada del resto (16,1) indicadora de la pobreza en nitrógeno de la hojarasca de las resinosas.

Fósforo asimilable

La mayor parte del fósforo presente en los suelos se encuentra en formas insolubles, no pudiendo ser directamente aprovechado por las plantas. La cuantificación del fósforo asimilable nos da una idea más precisa de la disponibilidad de este elemento (Olsen *et al.*, 1977).

A excepción de las tierras correspondientes a los perfiles C-4 y C-6, donde se han realizado las aportaciones de fosfatos alumínicos, y realizando una valoración con criterios agronómicos, los niveles de fósforo asimilable son moderadamente bajos (López Ritas y López Melida, 1990). Las tierras que se han fertilizado con este abono presentan los valores más altos (Tabla 4). En todos los casos, y especialmente en

las tierras abonadas, hay una clara diferenciación entre capas, alcanzando las superficiales los valores más elevados, lo que es debido a la escasa movilidad de este elemento en el suelo y su vinculación a la materia orgánica.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC) y cationes de intercambio

La CIC es un parámetro indicador de la cantidad de cargas eléctricas negativas que retienen los cationes, muchos de ellos necesarios para el crecimiento de los vegetales, presentes en el suelo. Los minerales de arcilla y la materia orgánica son los dos componentes que generan estas cargas. En ambos casos su contribución depende de las distintas tipologías en que puedan encontrarse en el suelo. Los minerales de arcilla se incluyen mayoritariamente en la fracción granulométrica 'arcillas' si bien algunos pueden formar parte de la fracción más fina de los 'limos' (Brady y Weil, 1996).

Los valores obtenidos oscilan entre 8,9 cmol/kg en suelos pobres en materia orgánica, desarrollados sobre calizas margosas y 30,4 cmol/kg en la capa superior del suelo forestal desarrollado sobre calizas duras (Tabla 5). Se aprecia una clara diferenciación entre los suelos desarrollados sobre calizas margosas (valores medios en torno a 12 cmol/kg) y los desarrollados sobre calizas duras (valores medios de 22 cmol/kg), obteniéndose en ambos casos los valores más elevados en las capas con un contenido de materia orgánica más elevado.

El complejo de cambio está ocupado, mayoritariamente por calcio, magnesio, potasio y sodio. En la Tabla 5 se representan los contenidos de magnesio, potasio y sodio. En muestras calizas la cuantificación del calcio intercambiable mediante reemplazamiento con acetato amónico se sobreestima al aportarse calcio proveniente de partículas de carbonato cálcico. De hecho, en todas las muestras con presencia de carbonatos los valores de calcio obtenidos estaban por encima de la capacidad de intercambio catiónico. Únicamente en los perfiles J-4 y J-5, descarbonatados, los niveles de calcio se mantenían entorno al valor de saturación (resultados no representados).

El magnesio oscila entre 0,6 y 1,5 cmol/kg en los suelos desarrollados sobre calizas margosas mientras que en los suelos rojos los valores van de 1,1 a 2,7 cmol/kg. El contenido de potasio intercambiable sigue una tónica similar si bien, en este caso destaca el alto contenido del suelo correspondiente al perfil C-6, como resultado de aportaciones de fertilizantes. En el resto de suelos sobre calizas margosas los valores oscilan entre 0,2 y 0,8 cmol/kg. En los suelos rojos los valores son, también, más elevados entre 0,8 y 2,1 cmol/kg, destacando el suelo de cultivo J-2 (Tabla 5).

Los contenidos de sodio intercambiable son muy bajos, en consonancia con los valores de salinidad obtenidos, sin superar en ningún caso el 1,5% de los lugares de intercambio catiónico.

El calcio es el catión mayoritario, ocupando en todas las muestras más del 80% de los lugares de intercambio catiónico.

Conclusiones

Las dos litologías estudiadas dan lugar a dos tipos de suelos contrastados. Sobre las calizas margosas se desarrollan suelos con un alto contenido en carbonatos (hasta un 70-80%), mientras que, sobre calizas duras se desarrollan suelos rojos completamente descarbonatados. Estos últimos pueden sufrir procesos de recarbonatación importantes, inducidos por actividades humanas.

A pesar de que las dos tipologías presentan distribuciones texturales próximas, el contenido mineralógico es claramente diferente. La fracción granulométrica 'arcillas' presenta un alto contenido en carbonatos (caliza activa) en los suelos desarrollados sobre calizas margosas, mientras que, en los suelos rojos el contenido de minerales de arcilla es mucho más elevado.

Los niveles de materia orgánica de las tierras que se labran son claramente inferiores a los de las tierras no cultivadas.

Cuando el substrato litológico son calizas margosas la formación de nuevo suelo es un proceso muy rápido, dando lugar a formaciones con características muy próximas al material originario. En cambio, sobre las calizas duras encontramos típicos suelos mediterráneos, en los que se

Tabla 5. Capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bases de cambio (magnesio, potasio y sodio).
Table 5. *Cation exchange capacity (CIC) and extractable bases (magnesium, potassium and sodium).*

Perfil	Capa (cm)	CIC (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	K (cmol/kg)	Na (cmol/kg)
C-1	0-18	8,9	0,83	0,20	0,10
C-2	0-10	16,4	0,95	0,50	0,09
	10-24	13,1	0,87	0,35	0,08
C-3	0-18	11,5	0,77	0,67	0,09
	18-40	12,6	0,63	0,30	0,11
	40-65	11,5	0,63	0,36	0,13
	65-81	12,5	0,73	0,44	0,16
	81-120	15,5	0,96	0,38	0,16
C-4	0-7	11,2	1,02	0,44	0,08
	7-20	11,4	0,77	0,24	0,08
C-5	0-10	22,5	1,50	0,82	0,10
	10-18	16,9	1,52	0,64	0,09
C-6	0-8	10,0	1,08	1,84	0,12
	8-22	10,5	0,90	1,53	0,14
J-1	0-12	20,4	1,58	1,45	0,07
	12-27	19,1	1,50	1,12	0,09
J-2	0-8	21,6	1,22	2,12	0,10
	8-16	20,0	1,17	1,60	0,10
	16-42	19,7	1,13	1,19	0,08
J-3	0-12	23,9	1,22	1,09	0,10
J-4	0-12	21,9	1,61	1,51	0,11
	12-25	21,0	1,09	0,77	0,12
J-5	0-11	30,4	2,69	1,36	0,15
	11-27	23,0	1,45	1,11	0,16

aprecian fenómenos de iluviación de arcillas, dando lugar a horizontes argílicos, típicos de los suelos fersialíticos o 'terra rossa'. Las características que presentan estas formaciones son las comunes a las descritas en numerosos estudios que demuestran que los suelos de muchas regiones mediterráneas son viejos, frecuentemente poligénicos, afectados por fluctuaciones climáticas y por la intervención humana en la gestión del territorio. La deforestación, especialmente en tierras en pendientes ha ido acompañada de la erosión, generando suelos superficiales.

Desde una perspectiva de análisis del paisaje edafológico, se aprecia que en las áreas con litologías calizo-margosas, donde los procesos erosivos han retirado el suelo fértil pero va acompañado de una rápida formación de nuevo suelo, se aprecian suelos de colores claros. Incluso con pendientes de 14 ó 15° se siguen destinando a la agricultura, siendo sometidos a la labranza. En cambio, cuando el substrato litológico esta constituido por calizas duras, la lentísima formación de nuevo suelo no compensa las pérdidas erosivas, apareciendo afloramientos de roca (incluso en terrenos sometidos a pendientes moderadamente bajas de 3 ó 4°). En estos casos se hace imposible la labranza por lo que la fisonomía de estos terrenos está dominada por los afloramientos de calizas duras y una vegetación permanente.

Desde la perspectiva de análisis de la gestión de estos terrenos, se aprecia como las tierras que se han dejado de cultivar y donde se ha esta-

blecido vegetación silvestre presentan un incremento de materia orgánica y de la fertilidad en general. La labranza es una práctica totalmente inadecuada en terrenos con pendientes que favorecen los procesos erosivos. Las características de estos suelos son indicadoras de un nivel de fertilidad extraordinariamente bajo, lo que se traduce en producciones agrícolas muy reducidas.

En tierras situadas en zonas en pendiente, sometidas a procesos erosivos, el cambio de gestión agraria dirigido a restablecer una vegetación silvestre permitiría reducir la erosión, aumentando la fertilidad del suelo. Estas medidas permitirían, además de conservar y mejorar el recurso natural suelo, mejorar el rendimiento agropecuario de estas tierras (Pimentel *et al.*, 1995). Las mejoras en la fertilidad del suelo se pueden traducir en un incremento de la producción vegetal (en forma de vegetación silvestre), que puede ser aprovechada por el ganado, y aumentar así la rentabilidad económica de estos terrenos.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto *Estudi de la fertilitat de les terres de finques d'agricultura ecològica* financiado por la *Conselleria d'Agricultura i Pesca del Govern de les Illes Balears*.

Bibliografia

Alías, L.J. y Nieto, M. 1972. Contribución al estudio de la terra rossa española. Macromorfología y datos analíticos generales. *Anales de Edafología y Agrobiología*. 31: 61-75.

Alías, L.J., López-Bermúdez, F., Marín-Sanleandro, P., Romero-Díaz, M.A. y Martínez, J. 1997. Clay minerals and soil fertility loss on Petric Calcisol under a semiarid Mediterranean environment. *Soil Technology*, 10: 9-19.

Brady, N.C. y Weil, R.R. 1996. *The nature and properties of soils*. 11a. ed. Prentice Hall, New Jersey. 621 pp.

Braun Blanquet, J. 1979. *Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales*. H. Blume Ediciones, Madrid. 820 pp.

Casalí, J., Lopez, J.J. y Giraldez, J.V. 1999. Ephemeral gully erosion in southern Navarra (Spain). *Catena*, 36: 65-84

Cerdà, A. 1999. Parent material and vegetation affect soil erosion in eastern Spain. *Soil Science Society of America Journal*, 63: 362-368.

Daniels, R.B. y Hammer, R.D. 1992. *Soil Geomorphology*. John Wiley & Sons, Inc. New York. 236 pp.

Duchaufour, Ph. 1984. *Edafología 1. Edafogénesis y clasificación*. Ed. Masson, Barcelona. 493 pp.

Duiker, S.W., Flanagan, D.C. y Lal, R. 2001. Erodibility and infiltration characteristics of five major soils of southwest Spain. *Catena*, 45: 103-121.

Dutil, P. 1987. La caliza en los suelos. Calcio y magnesio. *In:* Bonneau, M. y Souchier, B. (eds.) *Edafología 2. Constituyentes y propiedades del suelo*. 374-380. Ed. Masson. Barcelona.

FAO. 1974. *Soil map of the world*. Vol. 1. Legend. 59 pp. UNESCO, París.

Fedoroff, N. 1977. Clay illuviation in Red Mediterranean soils. *Catena*, 28: 171-189.

Figueiredo, T. y Poesen, J. 1998. Effects of surface rock fragment characteristics on interrill runoff and erosion of a silty loam soil. *Soil & Tillage Research*, 46: 81-95.

Fornós, J.J., Crespí, D. y Fiol, Ll.A. 1997. Aspectes mineralògics i texturals de la pols procedent de les pluges de fang a les Illes Balears: la seva importància en alguns processos geològics recents. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 40: 113-122.

Gregorich, E.G., Greer, K.J., Anderson, D.W. y Liang, B.C. 1998. Carbon distribution and loses: erosion and deposition effects. *Soil & Tillage Research*, 47: 291-302.

Guijarro, J.A. 1986. *Contribución a la bioclimatología de Baleares*. Tesis doctoral, Universitat de les Illes Balears.

Guillet, B. y Rouiller, J. 1987. La granulometría. *In:* Bonneau, M. y Souchier, B. (eds.) *Edafología 2. Constituyentes y propiedades del suelo*. 225-231. Ed. Masson. Barcelona.

Instituto Tecnológico Geominero de España 1992. *Mapa Geológico de España*. (hojas a escala 1:50.000).

Jiménez Ballesta, R. y Guerra, A. 1980. Alfisoles sobre materiales carbonatados en clima mediterráneo de la provincia de Castellón de la Plana. *Anales de Edafología y Agrobiología*, 39: 465-475.

Kosmas, C., Danalatos, N.G. y Gerontidis, St. 2000. The effect of land parameters on vegetation performance and degree of erosion under Mediterranean conditions. *Catena*, 40: 3-17.

López Ritas, J. y López Melida, J. 1990. El diagnóstico de suelos y plantas. Ed. Mundi-Prensa, Madrid. 337 pp.

MAPA 1983. *Manual para la descripción codificada de suelos en el campo. SINEDARES.* Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.

MAPA 1986. *Métodos oficiales de análisis. Tomo III.* Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.

Morgan, R.P.C. 1997. *Erosión y conservación del suelo.* Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 343 pp.

Nelson, D.W. y Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. *In:* Page A.L., Miller, R.H. y Keeney, D.R. (eds.). *Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and microbiological properties.* 539-579. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. Madison.

Nevo, E., Travleev, A.P., Belova, N.A., Tsatskin, A., Pavlícek, T., Kulik, A.F., Tsvetkova, N.N. y Yemshanov, D.C. 1998. Edaphic interslope and walley bottom differences at "Evolution Canyon", Lower Nahal Oren, Mount Carmel, Israel. *Catena*, 33: 241-254.

Olsen, A.R., Bowman, R.A. y Watanabe, F.S. 1977. Behaviour of phosphorus in soils and interactions with other nutrients. *In:* Ansiaux, J.R., Comas, J.O., Gervy, R., Lewis, D.A. y Carpentier, L.J. (eds.) *Phosphorus in Agriculture.* 31-46. I.S.M.A. Ltd., París.

Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R. y Blair, R. 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 267: 1117-1123.

Porta, J., López-Acevedo, M. y Rodríguez, R. 1986. *Técnicas y Experimentos en Edafología.* Col·legi Oficial d'Enginyers Agrònoms de Catalunya. 282 pp. Barcelona.

Reglamento (CEE) nº 2092/91 de 24 de junio de 1991 sobre la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios. *Diario oficial de las Comunidades Europeas.* Nº L198/1-16.

Rivas-Martínez, S. 1995. Clasificación bioclimática de la Tierra. *Folia Botanica Matritensis*, 16.

Saña, J., Moré, J.C. y Cohí, A. 1996. *La gestión de la fertilidad de los suelos.* Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 277 pp.

Siepel, A.C., Steenhuis, T.S., Rose, C.W., Parlange, J.-Y. y McIsaac, G.F. 2002. A simplified hillslope erosion model with vegetation elements for practiccal aplications. *Journal of Hydrology*, 258: 111-121.

Soil Survey Staff, 1992. *Keys to Soil Taxonomy.* 5ª ed. Pocahontas Press. Virginia. 541 pp.

Tagliavini, M. y Rombolà, A.D. 2001. Iron deficiency and chlorosis in orchard and vineyard ecosystems. *European Journal of Agronomy*, 15: 71-92.

Yaalon, D.H. 1997. Soils in the Mediterranean region: what makes them different? *Catena*, 28: 157-169.

Yassoglou, N., Kosmas, C. y Moustakas, N. 1997. The red soils, their origin, properties, use and management in Greece. *Catena*, 28: 261-278.

ANEXO

Perfil C-1

Fecha de muestreo: 4/1/96
Latitud: 39°34'26" N **Longitud:** 2°29'16" E
Altitud: 100 m. **Topografía:** Ladera. **Pendiente:** 14° **Exposición:** Noreste.
Geología: Calizas margosas del Cretácico.
Cultivo y gestión: Campo de almendros y algarrobos. Los árboles presentan un desarrollo muy reducido. El terreno está labrado, sin presencia de plantas herbáceas.
Clasificación:
Soil Taxonomy (USDA): *Typic Xerorthent* **FAO:** Regosol calcárico

Hor.	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-12(18)	Color entre gris claro y amarillo pálido (2.5Y 7/3) en húmedo y blanco (2.5Y 8/2) en seco. Tierra plástica. Estructura entre granular y migajosa, aunque la zona más superficial está desestructurada. Elementos gruesos muy frecuentes. Reacción al HCl muy fuerte. Muy pocas raíces, perennes de almendro o de algarrobo; su mayoría se encuentran en el límite inferior de esta capa.
C	>12(18)	Roca caliza margosa. Reacción al HCl muy fuerte. La parte superior presenta fisuras que son aprovechadas por gran parte de las raíces.

Otras observaciones: El terreno presenta frecuentes puntos donde la roca aflora a la superficie, indicando una profundidad del suelo variable. La pedregosidad superficial es de alrededor del 20%.

Perfil C-2

Fecha de muestreo: 4/1/96
Latitud: 39°34'27" N **Longitud:** 2°29'16" E
Altitud: 95 m. **Topografía:** Ladera. **Pendiente:** 23° **Exposición:** Noreste.
Geología: Calizas margosas del Cretácico.
Cultivo y gestión: Franja de tierra de unos 5 m de ancho, que sigue las curvas de nivel, y que no se cultiva a causa de la fuerte pendiente.
Vegetación:
Especies abundantes: *Pistacia lentiscus, Asphodelus aestivus.*
Especies frecuentes: *Daphne gnidium, Asparagus albus, Rubia angustifolia, Cirsium arvense, Ophris fusca, Arisarum vulgare.*
Otras especies presentes: *Rubus ulmifolius, Galactites tomentosa, Eryngium campestre, Gladiolus illyricus, Plantago lanceolata, Pallenis spinosa, Anagallis arvensis.*
Clasificación:
Soil Taxonomy (USDA): *Typic Xerorthent* **FAO:** Regosol calcárico

Hor.	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-10	Color marrón grisáceo (10YR 5/2) en húmedo y gris amarillo claro (10YR 6/2) en seco. Estructura migajosa, con elementos gruesos muy frecuentes. Reacción al HCl muy fuerte. Abundantes raíces perennes.

CA	10-24	Color entre gris marrón claro y marrón pálido (10YR 6/2.5) en húmedo y entre gris claro y gris marrón claro (10YR 6.5/2) en seco. Zona de mezcla de la capa superior con el material originario, siendo este último predominante. Frecuentes elementos gruesos. El material originario está mucho más meteorizado que en el perfil anterior. Reacción al HCl muy fuerte. Presencia de raíces perennes.
C	>24	Roca caliza margosa

Perfil C-3

Fecha de muestreo: 4/1/96

Latitud: 39°34'29" N **Longitud:** 2°29'17" E

Altitud: 90 m. **Topografía:** vaguada. **Pendiente:** <1° **Exposición:** Sur sureste

Geología: Materiales aluviales y coluviales procedentes de suelos desarrollados sobre calizas margosas cretácicas, situados en posiciones elevadas.

Cultivo y gestión: Campo de almendros, sin cultivo herbáceo.

Vegetación:

Especies presentes: *Trifolium subterraneum, Galactites tomentosa, Carduus tenuiflorus, Silybum marianum.*

Clasificación:

Soil Taxonomy (USDA): *Typic Xerorthent* **FAO:** Fluvisol calcárico

Hor.	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-18	Color entre marrón grisáceo y marrón (10YR 5/2.5) en húmedo y entre gris marrón pálido y marrón pálido (10YR 6/2.5) en seco. Tierra muy plástica. Estructura migajosa. Elementos gruesos muy frecuentes. Reacción al HCl muy fuerte. Entre abundantes y frecuentes raíces anuales, en los primeros 15 cm, y frecuentes raíces perennes en la zona inferior.
C1	18-24	Color entre marrón y marrón pálido (10YR 5.5/3) en húmedo y entre gris marrón claro y marró pálido (10YR 6/2.5) en seco. Tierra muy plástica. Estructura migajosa, aunque no tan clara como en la primera capa. Elementos gruesos muy frecuentes. Reacción al HCl muy fuerte. Frecuentes raíces perennes gruesas, y presencia de finas y muy finas.
C2	40-65	Color entre gris marrón claro y gris marrón (10YR 5.5/2.5) en húmedo y gris marrón claro (10YR 6/2) en seco. Tierra muy plástica. Estructura un poco menos migajosa que la capa anterior. Elementos gruesos muy frecuentes. Reacción al HCl muy fuerte. Frecuentes raíces finas.
C3	65-81	Color gris marrón claro (10YR 6/2) en húmedo y color entre gris claro y gris-marrón claro (10YR 6.5/2) en seco. Tierra muy plástica. Estructura entre migajosa y granular. Elementos gruesos muy frecuentes. Reacción al HCl muy fuerte. Presencia de raíces finas.
C4	81-120	Color marrón grisáceo (10YR 5/2) en húmedo y gris marrón claro (10YR 6/2) en seco. Tierra muy plástica. Estructura granular. Elementos gruesos muy frecuentes. Reacción al HCl muy fuerte. Presencia de raíces finas.

Perfil C-4

Fecha de muestreo: 9/1/96

Latitud: 39°34'30" N **Longitud:** 2°29'17" E

Altitud: 100 m. **Topografía:** Parte baja de ladera. **Pendiente:** 10° **Exposición:** Sur

Geología: Calizas margosas del Cretácico.

Cultivo y gestión: Campo de almendros con presencia de algarrobos. El terreno se encuentra en barbecho, con restos de pasto de trébol subterráneo.

Vegetación silvestre:

Especies frecuente: *Trifolium subterraneum.*

Otras especies presentes: *Anagallis arvensis, Galactites tomentosa, Carduus tenuiflorus, Anthemis sp., Plantago lanceolata, Plantago afra, Convolvulus arvensis.*

Clasificación:

Soil Taxonomy (USDA): *Typic Xerorthent* **FAO:** Regosol calcárico

Hor.	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-7	Color gris claro (10YR 7/2) en húmedo y blanco (5Y 8/1) en seco. Tierra muy plástica. Estructura migajosa. Elementos gruesos muy frecuentes. Reacción al HCl muy fuerte.
AC	7-17	Color gris claro (2.5Y 7/2) en húmedo y blanco (5Y 8/1) en seco. Tierra muy plástica. Estructura migajosa, estando la capa más compacta que la anterior. Elementos gruesos muy frecuentes. Reacción al HCl muy fuerte. Raíces de almendro en el
C	>17	Roca. La parte superior presenta muchas fisuras, que se encuentran rellenas de tierra muy fina y que son aprovechadas por las raíces. Reacción al HCl muy fuerte.

Otras observaciones: La estructura migajosa de las capas superiores se ha visto favorecida por la gran cobertura superficial de piedras (70-80% de cobertura) que presenta el terreno.

Perfil C-5

Fecha de muestreo: 9/1/96

Latitud: 39°34'31" N **Longitud:** 2°29'17" E

Altitud: 110 m. **Topografía:** Ladera. **Pendiente:** 8° **Exposición:** Sur.

Geología: Calizas margosas del Cretácico.

Cultivo y gestión: Terreno marginal, que no se cultiva al estar la roca muy superficial.

Vegetación:

Especie abundante: *Asphodelus aestivus.*

Especies frecuentes: Carlina corymbosa, Galactites tomentosa, Sonchus tenerrimus.

Otras especies presentes: *Olea europaea, Asparagus albus, Anagallis arvensis, Carduus tenuiflorus, Psoralea bituminosa, Euphorbia serrata, Anthemis arvensis, Pallenis spinosa, Teucrium polium, Plantago lanceolata, Plantago afra, Trifolium stellatum, Aegilops geniculata.*

Clasificación:

Soil Taxonomy (USDA): *Typic Xerorthent* **FAO:** Regosol calcárico

Hor.	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-10	Color marrón grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo y gris claro (2.5Y 7/2) en seco. Tierra muy plástica. Estructura miga-

		josa. Elementos gruesos muy frecuentes. Reacción al HCl muy fuerte.
AC	10-18	Color entre gris marrón claro y marrón grisáceo (10YR 5.5/2) en húmedo y entre gris claro y blanco (2.5Y 7.5/2) en seco. Tierra muy plástica. Estructura migajosa. Elementos gruesos muy frecuentes. Reacción al HCl muy fuerte.
C	>18	Roca caliza margosa.

Otras observaciones: El terreno presenta una profundidad variable con frecuentes puntos donde la roca aflora a la superficie.

Perfil C-6

Fecha de muestreo: 11/1/96
Latitud: 39°34'34" N **Longitud:** 2°29'17" E
Altitud: 120 m. **Topografía:** Tabular
Geología: Calizas margosas del Cretácico.
Cultivo y gestión: Campo de almendros, labrado recientemente.
Clasificación:
Soil Taxonomy (USDA): *Typic Xerorthent* **FAO:** Regosol calcárico

Hor.	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-8	Color entre marrón y marrón grisáceo (10YR 5/2.5) en húmedo y gris claro (10YR 7/2) en seco. Tierra muy plástica. Estructura migajosa. Abundantes elementos gruesos. Reacción al HCl muy fuerte.
AC	8-22	Color marrón (10YR 5/3) en húmedo y marrón muy pálido (10YR 7/3) en seco. Muy plástica. Estructura migajosa. Elementos gruesos muy frecuentes. Reacción al HCl muy fuerte.
C	>22	Roca deleznable caliza. En la zona, a nivel popular, se conoce como 'blanquer' o 'sauló'.

Perfil J-1

Fecha de muestreo: 12/1/96
Latitud: 39°34'39" N **Longitud:** 2°29'17" E
Altitud: 120 m. **Topografía:** Ladera **Pendiente:** 5-6° **Exposición:** Oeste noroeste
Geología: Calizas duras del Jurásico (Lias).
Cultivo y gestión: Zona sin cultivar por la escasa profundidad del terreno, con muchos puntos donde la roca aflora a la superficie.
Vegetación:
Especie abundante: *Asphodelus aestivus.*
Especie frecuente: *Olea europaea.*
Otras especies presentes: *Pistacia lentiscus, Asparagus albus, Carlina corymbosa, Urginea maritima, Anthyllis tetraphylla, Plantago lanceolata, Aegilops geniculata.*
Clasificación:
Soil Taxonomy (USDA): *Lithic Rhodoxeralf* **FAO:** Luvisol crómico

Hor.	Prof. (cm)	Descripción
A	0-12	Color marrón rojizo oscuro (5YR 3/3.5) en húmedo y marrón rojizo (5YR 5/4) en seco. Estructura granular migajosa. Frecuentes elementos gruesos. Reacción al HCl muy débil.
Bt	12-27	Color entre marrón rojizo oscuro y rojo oscuro (2.5YR 3/5) en húmedo y rojo amarillento (5YR 4/6) en seco. Estructura granular migajosa, siendo la capa más compacta que la anterior. Pocos elementos gruesos. Reacción al HCl muy débil.
R	>27	Roca caliza dura.

Otras observaciones: El terreno presenta una profundidad muy variable, con puntos donde la roca aflora a la superficie.

Perfil J-2

Fecha de muestreo: 12/1/96
Latitud: 39°34'39" N **Longitud:** 2°29'17" E
Altitud: 120 m. **Topografía:** Ladera **Pendiente:** 5-6° **Exposición:** Oeste suroeste
Geología: Conglomerado constituido por cantos procedentes de calizas duras jurásicas.
Cultivo y gestión: Campo de algarrobos.
Vegetación silvestre:
Especies presentes: *Asphodelus aestivus, Rubia peregrina, Galactites tomentosa, Eryngium campestre, Torilis nodosa, Anagallis arvensis, Bellis annua.*
Clasificación:
Soil Taxonomy (USDA): *Lithic Rhodoxeralf* **FAO:** Luvisol crómico

Hor.	Prof. (cm)	Descripción
Ap1	0-8	Color marrón rojizo oscuro (2.5YR 3/4) en húmedo y entre marrón rojizo y rojo amarillento (5YR 4/5) en seco. Estructura migajosa granular. Tierra suelta por el laboreo. Abundantes elementos gruesos. Reacción al HCl muy fuerte.
Ap2	8-16	Color entre rojo oscuro y marrón rojizo oscuro (2.5YR 3/3) en húmedo y rojo amarillento (5YR 4/6) en seco. Estructura granular migajosa. Abundantes elementos gruesos. Reacción al HCl muy fuerte. Presencia de bulbos de *Arisarum vulgare.*
Bt	16-42	Color entre rojo y rojo oscuro (2.5YR 3.5/6) en húmedo y rojo amarillento (5YR 4/6) en seco. Estructura angular. Muy abundantes elementos gruesos. Reacción al HCl muy fuerte. Abundantes raíces finas.
C	>42	Material originario constituido por un conglomerado de cantos, cimentado por carbonatos precipitados con un alto contenido de arcillas rojas.

Perfil J-3

Fecha de muestreo: 12/01/96
Latitud: 39°34'39" N **Longitud:** 2°29'17" E
Altitud: 115 m. **Topografía:** Ladera **Pendiente:** 18° **Exposición:** Norte
Geología: Calizas duras del Jurásico (Lias).

Cultivo y gestión: Terreno sin cultivar.
Vegetación:
Especies abundantes: *Olea europaea, Ampelodesmos mauritanica, Asphodelus aestivus.*
Especies frecuentes: *Galactites tomentosa, Anthemis sp., Plantago lanceolata.*
Otras especies presentes: *Nigella damascena, Trifolium campestre, Trifolium stellatum, Plantago bellardii, Sideritis romana.*
Clasificación:
Soil Taxonomy (USDA): *Lithic Rhodoxeralf* **FAO:** Litosol

Hor.	Prof. (cm)	Descripción
A	0-10	Color marrón rojizo oscuro (5YR 3/4) en húmedo y marrón rojizo (5YR 4.5/5) en seco. Estructura migajosa. Muy frecuentes elementos gruesos. Reacción al HCl muy fuerte. Presencia de raíces perennes. Presencia de lombrices de tierra.
R	>10	Roca caliza dura.

Otras observaciones: Suelo poco profundo, con afloramientos de roca en superficie.

Perfil J-4

Fecha de muestreo: 12/1/96
Latitud: 39°34'39" N **Longitud:** 2°29'17" E
Altitud: 135 m. **Topografía:** Ladera **Pendiente:** 5° **Exposición:** Sur
Geología: Calizas duras del Jurásico (Lias).
Cultivo y gestión: Antiguo olivar abandonado. Bosque esclerófiolo mediterráneo ('garriga') en expansión.
Vegetación:
Especies abundantes: *Olea europaea, Pistacia lentiscus, Cistus monspeliensis, Asphodelus aestivus, Teucrium polium, Brachypodium retusum.*
Otras especies presentes: *Scorpiurus muricatus, Anagallis arvensis, Anthyllis tetraphylla.*
Clasificación:
Soil Taxonomy (USDA): *Lithic Rhodoxeralf* **FAO:** Luvisol crómico

Hor.	Prof. (cm)	Descripción
A	0-12	Color marrón rojizo oscuro (5YR 3/3) en húmedo y marrón rojizo (5YR 5/4) en seco. Estructura migajosa. Muy pocos elementos gruesos. Reacción al HCl inapreciable.
Bt	12-25	Color marrón rojizo oscuro (2.5YR 3/4) en húmedo y marrón rojizo (5YR 4/4) en seco. Estructura migajosa. Pocos elemen-
R	>25	Roca caliza dura.

Otras observaciones: El terreno presenta una profundidad muy variable con puntos donde la roca aflora en superficie (cobertura de rocas y piedras alrededor del 90%).

Perfil J-5

Fecha de muestreo: 12/1/96
Latitud: 39°34'47" N **Longitud:** 2°29'17" E
Altitud: 155 m. **Topografía:** Ladera **Pendiente:** 4-5° **Exposición:** Sur
Geología: Calizas duras del Jurásico (Lias).
Cultivo y gestión: Pinar.
Vegetación:
Especies abundantes: *Pinus halepensis, Olea europaea, Genista lucida, Pistacia lentiscus.*
Especies frecuentes: *Cistus albidus, Brachypodium retusum.*
Otras especies presentes: *Anagallis arvensis, Allium subvillosum, Sonchus sp.*
Clasificación:
Soil Taxonomy (USDA): *Lithic Rhodoxeralf* **FAO:** Luvisol crómico

Hor.	Prof. (cm)	Descripción
Oe	+2-0	Materia orgánica parcialmente descompuesta.
A	0-11	Color marrón rojizo oscuro (2.5YR 3/4) en húmedo y marrón rojizo (5YR 4.5/4) en seco. Estructura migajosa. Frecuentes elementos gruesos. Reacción al HCl inapreciable
Bt	11-27	Color marrón rojizo oscuro (2.5YR 3/4) en húmedo y entre marrón rojizo oscuro y marrón rojizo (5YR 3.5/4) en seco. Estructura migajosa. Pocos elementos gruesos. Reacción al
R	>27	Roca caliza dura

Otras observaciones: El terreno presenta una profundidad variable con numerosos puntos donde afloran rocas.